

Nya tekniker inom växthusbelysning

KARL-JOHAN BERGSTRAND OCH HARTMUT K. SCHÜSSLER

Senare års ökade krav på energibesparing samt utfasning av glödlampor och kvicksilverlampor har drivit på utvecklingen inom belysningsteknologin. Denna teknikutveckling kommer även växthussektorn till godo. Inom växthusbelysning har inte mycket hänt sedan högtrycksnatrium-tekniken introducerades på 1970-talet eftersom högtrycksnatriumlamporna levt upp till de krav som hittills ställts på växthusbelysning; lågt inköpspris och hygglig effektivitet. Numera efterfrågar växthussektorn ännu effektivare ljuskällor, och gärna också med möjligheter att på olika sätt styra tillväxt och utveckling hos kulturen. Nya teknologier av intresse för växthusodlingen har nyligen introducerats på marknaden, eller kommer att introduceras inom några år. Mest uppmärksamhet har LED-tekniken rönt, men det finns ett flertal andra lamptyper som verkar intressanta i växthussammanhang.

Även den traditionella högtrycksnatrium-tekniken har vidareutvecklats med elektroniska drivdon vilket ger något högre effektivitet samt viss möjlighet att styra intensiteten.

Det synliga ljuset omfattar elektromagnetisk strålning inom ett spektrum av våglängder omfattande c:a 400–700 nm. Detta överensstämmer i stort sett med det område som är verksamt i växternas fotosyntes. En viktig skillnad mellan det mänskliga ögat och växternas fotosyntes är känsligheten för olika våglängder. Medan våra ögon är mest känsliga för grönt ljus och minst känsliga för blått ljus, förhåller det sig med växterna i princip tvärt om; blått och rött ljus är mest "värdefullt" för fotosyntesen, medan effektiviteten blir lägre om



Odling av julstjärnor med högtrycksnatrium-belysning. Foto: K-J Bergstrand

fotosyntesen ska drivas med grönt eller gult ljus (figur 1). Enheten lux, som oftast används för att beskriva ljusstyrka, är baserad på det mänskliga ögats uppfattning av ljus och är därför olämplig för mätning av ljus avsett för växtodling. När det gäller växtbelysning bör istället enheten $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR användas, som är ett absolut mått på mängden fotosyntesaktivt ljus som faller på en yta. Effektiviteten hos en ljuskälla avsedd för växtbelysning anges i enheten $\mu\text{mol}/\text{W}$, en uppgift som alltid bör uppges av leverantörer av belysningsutrustning.

Vilka tekniker finns nu och vilka kommer?

De önskemål vi främst har på ny belysningsteknologi för växthus bortsett från inköpspriset är högre energieffektivitet (kan utgöras både av högre elektrisk verkningsgrad och av att spektralfördel-

ningen är bättre avpassad för växternas fotosyntes), lång livslängd/låg total systemkostnad, samt för prydnadsväxtodling och småplantuppträffning gärna också ett ljus som ger reducerad sträckningstillväxt. Dessutom är det givetvis en fördel om armaturerna är kompakta och lättplacerade.

Högtrycksnatrium-tekniken är dominerande idag, med de fördelar som nämnts ovan. Till teknikens nackdelar hör den spektrala fördelningen hos ljuset, som inte är optimal. Dessutom bedöms tekniken ha nått ett stadium där det inte är möjligt att förbättra effektiviteten ytterligare. Lamptyper, som för närvarande bedöms vara av intresse som växthusbelysning, finns sammanställda i tabell 1. De flesta av dessa lamptyper är idag väsentligt dyrare än högtrycksnatrium-lampor (HPS). Undantaget är kompaktlysrör ("lågenergilampor"),



Bild 1 & 2: *Salvia elegans* (överst) samt *Calibrachoa* som odlats i växthus med olika typer av tillskottsljus: fr.v. 1: obelyst, 2: vit LED, 3: keramisk metallhalogen, 4: Röd/blå LED, 5: Högttrycksnatrium, 6: Induktion. Foto: H. K. Schüssler

som numera finns med lampeffekter upp till 250 W. I kombination med en enkel reflektor kan sådana kompaktylsrör utgöra en billig och väl fungerande växthusbelysning. Tekniker som plasmabelysning och fältemission är fortfarande mer eller mindre på experimentstadiet, även om plasmabelysning finns kommersiellt tillgänglig, om än till mycket höga kostnader. Keramiska metallhalogenlampor (CMH) och induktionslampor finns på marknaden, även om de i dagsläget tillgängliga modellerna inte är specifikt avsedda för växthusbelysning. LED-armaturer finns i en uppsjö av varianter, vissa av dem speciellt utvecklade för växthusbruk. Växthusmiljön med sin höga luftfuktighet, stora temperaturvariationer och många gånger också dammbelastning ställer särskilda krav på armaturerna. Armaturtyper ursprungligen avsedda för montering t.ex. utomhus eller i stallmiljö har oftast en högre kapslingsklass än armaturer avsedda för växthus, vilket innebär en onödig fördyring. Lamptyper särskilt utvecklade för växthusbruk bör därför alltid efterfrågas. Gemensamt för alla lamptyper utom

högttrycksnatriumlampor är att det saknas opartisk information om lampornas ljusutbyte ($\mu\text{mol}/\text{W}$).

Av figur 2 framgår den spektrala fördelningen hos några olika lamptyper. HPS-lampan har två toppar i området mellan 550 och 600 nm (gult ljus) samt en topp vid 800 nm vilket innebär värmestrålning. Den vita LED-armaturen har ett sammanhängande spektrum men med en topp vid 450 nm (blått ljus) och ett maximum mellan 500 och 600 nm. Rött/blått LED-ljus är ganska väl avpassat efter fotosyntesen med maximum vid 450 och 640 nm (blått och rött). Både induktions- och CMH-lampan har ett brett spektrum med toppar vid flera olika våglängder ("vitt" ljus).

Växthushörsök

För att få en bild av hur de olika belysningsteknologierna fungerar i växthusmiljö utfördes ett försök vid SLU Alnarp. Växtematerialet som användes var *Salvia elegans* (ananassalvia), *Salvia officinalis* (salvia), *Mentha officinalis* (mynta), *Calibrachoa x hybrida* (småpetunia) samt *Pelargonium zonale* (pelargon). Fem olika lamptyper användes (tabell 2). Dess-

utom fanns en behandling med endast naturligt ljus. Samtliga lampor justerades höjdmässigt så att en ljusstyrka om $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ erhöles i nivå med planttopparna. De olika behandlingarna var åtskilda av en ljustät, reflekterande plastfolie som bildade avgränsade kammare öppna upptill. Plantorna erhöles på så sätt inget direkt utan endast reflekterat solljus. Ett ljusprogram där dygnet delades in i tre perioder tillämpades: 8 h naturligt dagsljus (8:00–16:00), 8 h belysning (16:00–24:00, dagsljuset utestängt), 8 h mörker (00:00–8:00). Uppvärmningstemperaturen var 15°C med luftning vid 17°C . Bevattningen skedde manuellt anpassad efter upptorkningshastigheten. Temperatur och luftfuktighet i plantskiktet mättes var 30:e minut och lagrades av en datalogger (HOBO U12, Onset computer corp. USA). Plantornas (huvudskottets) tillväxt mättes veckovis. I slutet av försöket mättes även internodlängd, stamdiameter samt total biomassa (frisk/torrsvikt). Den spektrala sammansättningen hos ljuset från de olika lamptyperna mättes med en spektrometriometer (Licor LI-1800, LI-COR, USA).

Så påverkar ljuset växterna

Av figur 1 framgår att rött och blått ljus har störst effekt på fotosyntesen, medan grönt ljus endast ger c:a hälften av fotosyntesutbytet per insatt energienhet jämfört med optimal våglängd. Det är viktigt att ha i åtanke att detta är uppmätt i laboratoriemiljö, och inte tar någon hänsyn till andra växtfunktioner än just fotosyntesen. Figur 2 visar den spektrala sammansättningen hos ljuset från de undersökta lamptyperna. Den röd/blå LED-armaturen har ett ljus relativt väl avpassat för fotosyntesen, medan HPS-lampan har en topp i det gula området. Dessutom har HPS-lampan en skarp topp runt 820 nm, vilket innebär infraröd strålning (IR, värmestrålning). IR-strålningen påverkar växterna genom att höja bladtemperaturen och på så sätt bl.a. öka transpirationen. I försök

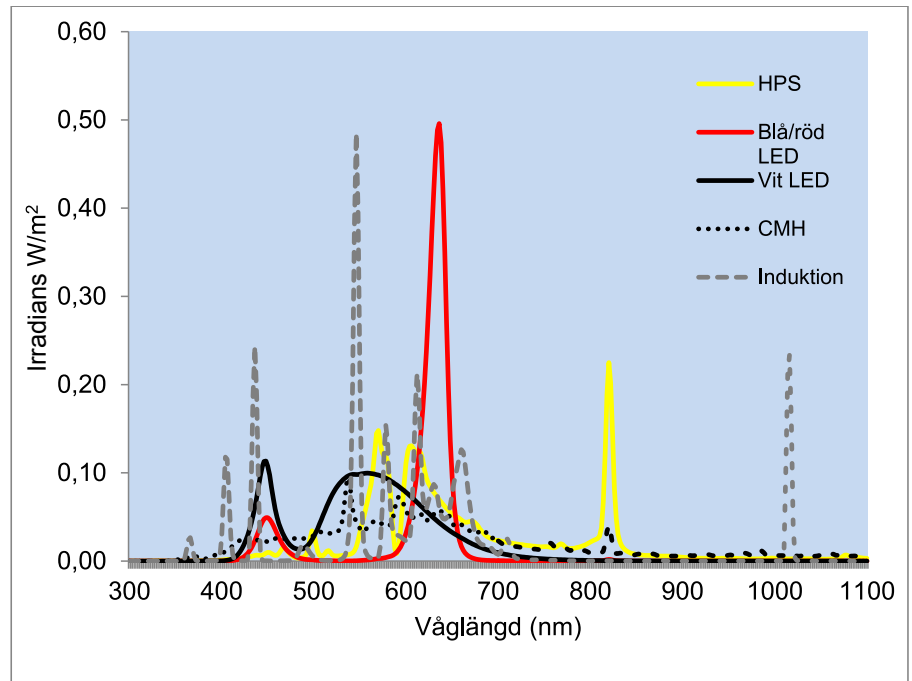
har det visat sig, att bladtemperaturen blir 0,5–1°C högre om plantorna belyses med högtrycksnatriumljus, jämfört med om de belyses med LED-armaturer vilka endast avger lite värmestrålning. Lägre bladtemperatur leder till långsammare utveckling, vilket kan betyda att luft-temperaturen behöver höjas.

Resultat från odlingsförsök

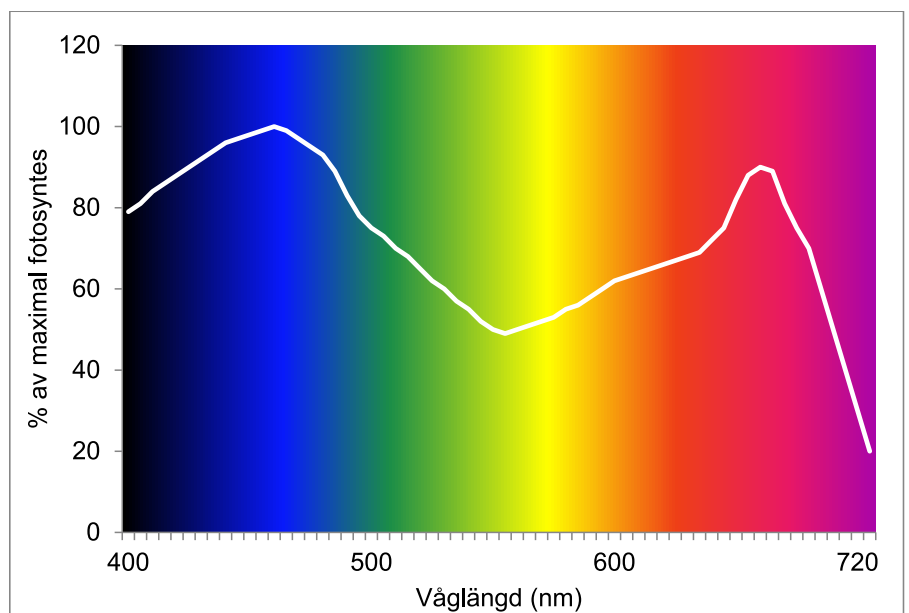
Internodiellängden (sträckningstillväxten) var generellt större hos de plantor som fått CMH- eller HPS-ljus, och kortast hos de plantor som inte fått något tillskottsljus och alltså bara erhållit 8 timmars dagslängd. Tillväxten i form av frisk- och torrsvikt var högst hos de plantor som fått HPS-ljus, med undantag för pelargon som fick högst frisk- och torrsvikt i vit och röd/blå LED-belysning. Lägst blev biomasseproduktionen naturligt nog hos de plantor som inte fått någon tillskottsbelysning, följt av induktionsbelysning. Hos pelargon var såväl plantbredd som planthöjd hos den ”gröna delen” av plantan i särklass lägst hos de plantor som inte fått tillskottsbelysning. Hos *Calibrachoa* var plantbredden högst hos HPS-belysta plantor och lägst hos obelysta plantor, med statistiskt säkerställda skillnader.

Hos *Calibrachoa* blev antalet blommor och knoppar högst då plantorna fick HPS-ljus. Även i *Mentha* uppträdde flest blommor hos plantor som fått HPS-ljus. För antalet sidoskott var trenden olika beroende på växtslag. Hos *Calibrachoa* och *Salvia elegans* blev det flest sidoskott i HPS-behandlingen, medan *Mentha* och pelargon blev mest förgrenade i rött/blått LED-ljus.

I plantskiktet skilde sig klimatet åt, där klimatet indelade sig i två grupper; en grupp där lufttemperaturen (då lamporna var tända) låg på drygt 19°C (HPS, CMH och Induktion), samt en grupp där temperaturen låg på 18–18,5°C (Obelyst, vit LED, röd/blå LED, tabell 2). Där temperaturen var högst var den relativa luftfuktigheten lägst. Under de tider på dygnet då belysningen var släckt var temperaturskillnaderna



Figur 2: Spektral sammansättning av ljuset från de olika ljuskällor som användes i studien. Observera att jämförelsen endast gäller ljusets relativa spektrala sammansättning



Figur 1: Generellt aktionsspektrum för växternas fotosyntes, uttryckt i % av maximal fotosyntes. Blått och rött ljus ger bäst fotosyntesutbyte (fritt efter Taiz & Zeiger, 2002).

mellan behandlingarna små. Det fanns dock en tendens till att luftfuktigheten var lägre i obelyst behandling, troligen beroende på lägre avdunstning från den mindre bladmassan.

Sammanfattning av försök

Skillnaderna mellan de olika belysta behandlingarna var generellt sett små. Tillväxten avseende biomassa, var i de flesta fall störst hos de plantor som fått ljus från högtrycksnatrium-lampor, vilket är nå-

Tabell 1: Olika belysningsteknologier användbara i växthus

Teknologi	Fördelar	Nackdelar	Kommersiellt tillgänglig
Högtrycks-natrium (HPS)	Lågt pris Högt ljusflöde Beprovad teknik	Ej optimal ljuskvalité Bristande styrbarhet Rel. kort livslängd	Ja
LED	Hög styrbarhet Flexibilitet gällande utformning och placering av armaturer Lång livslängd	Högt pris Kräver kylning Skrymmande armaturer	Ja
Keramisk metallhalogen (CMH)	Ljuskvalité Lång livslängd	Högre pris än högtrycksnatr. Tveksamhet kring ljusutbyte Bristande styrbarhet	Ja
Plasma	Högt ljusflöde Ljuskvalité Lång livslängd	Kostnadsläge Obeprovad teknik	Ja
Induktion	Ljuskvalité	Obeprovad Lågt ljusflöde Bristande styrbarhet	Ja
Fältemission	Ljuskvalité Ljusutbyte	Obeprovad	Nej
Kompaktlysrör	Lågt pris Ljuskvalité	Begränsad livslängd Otilräcklig styrbarhet	Ja

Tabell 2: Lamptyper använda i denna studie

Lamptyp	Högtrycks-natrium	LED-single-chip	CMH Keramisk Metallhalogen	LED-multidiod	Induktion
Ljuskvalitet	Gult	Kallvitt	Kallvitt	Rött/blått	Varmvitt
Konfiguration/effekt	1 x 250 W	4 x 100 W	2 x 70 W	1 x 350 W	1 x 250 W
Tillverkare/leverantör	Philips/UBA	Broham invest	Solljus AB	LightGrow AB	Jiangsu Lighting

got förvånande eftersom ljuskvaliteten från dessa sammanfaller dåligt med det fotosyntesoptimala spektret. Även rött/blått LED-ljus gav hög tillväxt. Den större tillväxten hos plantor belysta med högtrycksnatriumlampor kan delvis förklaras med att bladtemperaturen och transpirationen blir högre till följd av strålningsvärmens från ljuskällan. Sträckningstillväxten var inte som förväntat särskilt mycket lägre hos röd/blå LED jämfört då växterna fick högtrycksnatrium- eller keramiskt metallhalogenljus.

Diskussion

Ett optimerat spektrum borde ge större tillväxt i form av högre frisk- och torrsvikt, samt vid en ökad andel blått ljus, även en reducerad sträckningstillväxt. Därför var det något oväntat att högtrycksnatrium-ljuset gav störst tillväxt. En tänkbar delförklaring till resultatet är att både bladtemperatur och transpiration blev högre till följd av strålningsvärmens. Den mindre/lägre tillväxten hos plantor som odlats i CMH-ljus verkar däremot logisk då detta ljus innehåller en stor andel gröna strålar och reellt sett mindre blått ljus. Sträckningstillväxten ökade därför som förväntat hos dessa plantor.

Faktabladet är utarbetat inom LTJ-fakultetens område Hortikultur

Projektet är finansierat av Stiftelsen lantbruksforskning

Projektansvarig Hartmut K. Schüssler

Ansvarig författare och övrig medarbetare i projektet: Karl-Johan Bergstrand,
Karl-Johan.Bergstrand@slu.se, Box 103, 230 53 Alnarp

På webbadressen <http://epsilon.slu.se> kan detta faktablad hämtas elektroniskt